Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 353- 363

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۳۶۳-۳۵۳

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد الئوژل اتیل سلولز به‌عنوان جایگزین شورتنیگ تجاری با هدف تولید کیک با محتوای اسیدچرب اشباع پایین

احمد احتیاطی[۱]* - معصومه مهربان سنگ آتش[۱]-رضا کاراژیان[۱]- زهرا نظری[۱]-فرزاد صادقی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۷

چکیده

در این پژوهش جانشینی شورتنینگ تجاری در سطح‌های صفر تا۱۰۰ درصد با الئوژل بهینه شده بر پایه ترکیب اتیل سلولز/ اسید استئاریک/ استئاریل الکل/ سوربیتان مونو استئارات و مخلوط روغن کانولا/ سویا بر ویژگی‌های کیک روغنی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، از فرمولاسیون بهینه شده برای تولید الئوژل با بیشترین مشابهت با ساختار فیزیکی شورتنینگ استفاده گردید. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های رطوبت، فعالیت آبی و حجم مخصوص کیک تهیه شده با شورتنینگ الئوژل با کیک تهیه شده با شورتنینگ تجاری مشاهده نمی‌شود. از جهت رنگ پوسته، در شاخص‌های روشنایی و قرمز- سبز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و تنها در شاخص زرد- آبی، سطح ۱۰۰ درصد جانشینی، مقدار کمتری نسبت به شاهد نشان داد. در شاخص تخلخل بافت، تفاوت معنی‌داری بین پنج نمونه مورد بررسی مشاهده نشد. بررسی بافت نمونه‌های کیک نشان داد که سختی بافت و شاخص فنریت با افزایش درصد جانشینی شورتنینگ تجاری کاهش می‌یابد ولی شاخص پیوستگی تفاوت معنی‌داری پیدا نکرد. همچنین با افزایش درصد جانشینی شورتنینگ تجاری، با نرم‌تر شدن بافت، انرژی جویدن نمونه نیز کاهش یافت. در نهایت، ارزیابی حسی نمونه‌های کیک، تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های طعم، بافت، ظاهر، رنگ و پذیرش کلی نشان نداد. به‌طورکلی استفاده از شورتنینگ الئوژل به‌جای شورتنینگ تجاری در فرمولاسیون کیک، نه‌تنها در سطح ۵۰ درصد جانشینی، می‌تواند کیک با ویژگی‌های قابل‌قبول ای به همراه دارد، حتی تا سطح ۱۰۰ درصد نیز می‌تواند جایگزین شورتنینگ تجاری گردد و تنها در شاخص بافت تا حدی بافت نرم‌تری را ایجاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اتیل سلولز، اسید چرب اشباع، کیک، الئوژل

مقدمه

یکی از اجزای فرمولاسیون فراورده‌های غلات، به‌ویژه محصولاتی که در آن‌ها شبکه گلوتنی آرد گندم توسعه کم‌تری پیدا کرده است، چربی‌ها هستند که با عنوان شورتنینگ نامیده می‌شوند (Ghotra *et al.*, 2002). چربی علاوه بر کمک به تشکیل حباب‌های ریز هوا در مرحله تشکیل خمیر، به‌عنوان یک غشا در اطراف سلول هوا قرار می‌گیرد و از تخریب آن طی پخت، جلوگیری می‌کند. چربی ذوب‌شده با افزایش دما طی پخت، اجازه می‌دهد که حباب بزرگ‌تر شود و بافت محصول را متخلخل کند. عملکرد دیگر چربی در کیک، پوشش دادن آرد، حفظ رطوبت و کمک به جذب آب گلوتن است. با توجه به اهداف عملکردی موردنظر، حضور چربی جامد در کنار چربی مایع باعث عملکرد خاص شورتنینگ می‌شود (Zhou *et al.*, 2011).

خواص عملکردی شورتنینگ متاثر از حضور اسیدهای چرب اشباع است. اسیدهای چرب اشباع، مسئول ایجاد کریستال‌های چربی در دمای محیط هستند و درنتیجه باعث ایجاد ساختارهای الاستیک در چربی جامد می‌گردند. ترکیب نسبت مناسب چربی‌های جامد با روغن‌ها، باعث ایجاد چربی‌های پلاستیک با خواص ویژه رئولوژیکی می‌گردد (Wilderjans *et al.*, 2013). علاوه بر چربی‌هایی که به‌طور طبیعی جامد هستند، فرایند هیدروژنه کردن نیز برای تبدیل چربی‌های مایع به جامد، به‌واسطه تبدیل اسیدهای چرب غیراشباع به اسیدهای چرب اشباع، مورد استفاده قرار دارد. از معایب ناگزیر در این فرایند، تشکیل اسیدهای چرب ترانس، در اثر هیدروژنه کردن جزئی روغن مایع است (Pehlivanoglu *et al.*, 2018a). امروزه ارتباط مستقیم مصرف اسیدهای چرب ترانس و بیماری‌های قلبی عروقی اثبات شده است (Valoppi *et al.*, 2017). شورتنینگ‌ها دارای بیشتر از ۵۰ درصد اسیدهای چرب اشباع هستند (Ghotra *et al.*, 2002). طی دهه اخیر، ایجاد ساختارهای چربی نیمه جامد بدون استفاده از چربی‌های اشباع مورد توجه محققان قرار گرفته است (Martins *et al.*, 2018,

۱- گروه پژوهشی کیفیت و ایمنی مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

(* - نویسنده مسئول: Email: mahvid@live.com)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.86509

(Pehlivanoglu *et al.*, 2018b, Singh *et al.*, 2017) که این ساختارها که با عنوان الئوژل یا ارگانوژل شناخته می‌شوند.

ساختار الئوژل شامل روغن با چربی اشباع خیلی کم و یک یا چندین ترکیب ژل‌ساز بر اساس ویژگی‌های مورد انتظار است. ژل‌سازهایی که قادرند شبکه تشکیل دهند، بر اساس وزن مولکولی، به دو گروه اصلی ژلسازهای با وزن مولکولی پایین و ژل‌سازهای با وزن مولکولی بالا تقسیم‌بندی می‌شوند (Co and Marangoni, 2012). در گروه ژل‌سازهای با وزن مولکولی پایین. موم‌ها (مخلوط اسیدهای چرب و الکل‌های چرب)، فیتواسترول‌ها، مونوگلیسیریدها و سورفکتانت‌ها مثال‌هایی از این گروه ژل‌سازها هستند. گروه کمتر رایج، الئوژل‌های بر پایه ژل‌سازهای با وزن مولکولی بالا مانند پلیمرها هستند (Siraj *et al.*, 2015). در بین پلیمرهای مختلف، تنها اتیل سلولز، توانایی ژل ساختن روغن مایع بدون نیاز به فرایندهای حد واسط مثل امولسیون‌سازی، کاهش اندازه ذره، تبخیر حلال و ... را دارد. با وجودی که اتیل سلولز توانایی بالایی در ایجاد الئوژل یا ساختارهای نیمه جامد دارد اما الاستیسته بالای ژل و شکننده بودن آن، کاربرد الئوژل اتیل سلولز را برای جانشینی شورتنینگ که دارای ساختار ویسکوپلاستیک یا پخش‌پذیر است، محدود می‌کند. یکی از روش‌های تغییر خصوصیات فیزیکی الئوژل‌ها، استفاده از مولکول‌های کوچک با فعالیت سطحی است. افزودن این ترکیبات به ساختار ژل، افزایش قدرت ژل و ایجاد خاصیت رئولوژیکی تیکسوتروپی را به همراه دارد (Marangoni, 2012). از دیگر ترکیباتی که می‌تواند با حضور در ساختار الئوژل، پلاستیسته را بهبود بخشد، الکل‌های چرب هستند. الکل‌های چرب، ساختار اصلی تشکیل‌دهنده موم‌ها مانند موم کارنوبا، موم سبوس برنج، موم کاندلیا، موم زنبورعسل و سایر ترکیبات مومی هستند. موم‌ها ترکیباتی حاوی اسیدهای چرب و الکل‌های چرب عمدتا بلند زنجیر هستند و به دلیل ساختار هیدروکربنی مشابه چربی، در ایجاد ساختار ویسکوپلاستیک موثر هستند (Mert and Demirkesen, 2016a).

از تکنیک الئوژل‌سازی با اتیل سلولز برای جایگزینی چربی‌های با درجه اشباع بالا، در محصولات غذایی مختلف استفاده شده است. Gómez-Estaca و همکاران (۲۰۱۹) الئوژل اتیل سلولز (۱۱ درصد) و سورفکتانت سوربیتان مونواستئارات (۳/۶۷ درصد) حاوی مخلوط روغن‌های زیتون، روغن دانه کتان و روغن ماهی را به‌عنوان جایگزین چربی حیوانی در تولید پاته با درصد چربی کاهش‌یافته مورد استفاده قرار دادند. استفاده از الئوژل، باعث افزایش محتوای امگا۳ و محتوای اسید چرب غیراشباع محصول گردید اما به لحاظ حسی امتیاز کمتری نسبت به نمونه شاهد کسب کرد. اگرچه به لحاظ پایداری امولسیونی، پاته بر پایه الئوژل پایداری کمتری نشان داد ولی سفتی بافت این نمونه‌ها نسبت به نمونه کنترل بیشتر بود. Barbut و همکاران (۲۰۱۶) الئوژل‌های بر پایه اتیل سلولز- سوربیتان مونو استئارات و روغن کانولا را به‌عنوان جایگزین چربی گاو در سطوح صفر تا ۸۰ درصد در فرمولاسیون سوسیس فرانکفورتر مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد که استفاده از روغن کانولا بدون بهره‌گیری از تکنولوژی الئوژل‌سازی، باعث افزایش سفتی سوسیس و کاهش قابلیت جویدن گردید ولی با افزایش غلظت اتیل سلولز و سوربیتان مونو استئارات، بافت نرم‌تر گردید و قابلیت جویدن بهبود یافت.

پتانسیل تکنیک الئوژل‌سازی در محصولات پخت تاکنون در موارد مختلف موردبحث قرار گرفته است. عمده این مطالعات مبتنی بر استفاده از ژلساز های موم‌های طبیعی به فرم فاز کاملا چربی و امولسیونی بوده است (Jang *et al.*, 2015, Mert and Demirkesen, 2016b, Patel *et al.*, 2014). Adili و همکاران (۲۰۲۰) از تکنیک الئوژل‌سازی با اتیل سلولز و آدیپیک اسید برای تولید ژل جایگزین شورتنینگ استفاده کردند. این محققان شاخص‌های بافتی، حسی و رنگ را مورد بررسی قرار داده و بیان کردند الئوژل، قابلیت جایگزینی شورتنینگ را دارا است. بررسی منابع نشان می‌دهد تاکنون ظرفیت تکنیک الئوژل‌سازی با اتیل سلولز و هیبرید آن با سایر ژل‌سازها به‌ویژه الکل‌های چرب برای جایگزینی شورتنینگ مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف از این پژوهش، بررسی پتانسیل و عملکرد شورتنینگ طراحی شده بر اساس تکنیک الئوژل‌سازی با اتیل سلولز در ترکیب با ژل‌سازهای اسید چرب و الکل چرب و سورفکتانت سوربیتان مونواستئارات بر ویژگی‌های مختلف کیک روغنی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آرد گندم، شورتنینگ، شکر، شیر خشک بدون چربی، بیکینگ‌پودر و تخم‌مرغ، روغن کانولا و روغن سویا از فروشگاه‌های محلی خریداری شد. اتیل سلولز با ویسکوزیته ۲۰ سانتی‌پواز از نمایندگی شرکت Dow Chemical با نام تجاری Ethocel Standard 20 Premium خریداری شد. همچنین اسید استئاریک و استئاریل الکل درجه تجاری از شرکت مواد شیمیایی زیست آزما (مشهد، ایران) خریداری گردید. آنتی‌اکسیدان BHT درجه تجاری از کارخانه روغن سه گل تهیه شد.

آماده‌سازی الئوژل

برای تهیه الئوژل از فرمولاسیون بهینه‌شده بر اساس مطالعات مقدماتی و پیش تیمارهای انجام‌شده، (اتیل سلولز (۶/۴ درصد وزنی/ وزنی)، مخلوط اسید استئاریک/ استئاریل الکل با نسبت ۷۵:۳۰ (۷/۵ درصد وزنی/ وزنی) و سوربیتان مونو استئارات (۰/۱ درصد وزنی/ وزنی) و روغن کانولا/ سویا با نسبت ۲۵:۷۵ (۸۶ درصد وزنی/ وزنی)) با روش حرارت‌دهی مخلوط روغن و ژل‌ساز استفاده شد. به جهت جلوگیری از واکنش‌های اکسیداسیون غیرقابل‌کنترل در شرایط آزمایشگاهی، ابتدا به مخلوط روغن، آنتی‌اکسیدان BHT با غلظت ۱۰۰ppm اضافه گردید و پس از هم زدن، با استفاده از هات پلیت همزن مغناطیسی دمای

روغن تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرد. در این شرایط، ژل‌سازها به روغن اضافه شد و به مدت ۱۰ دقیقه یکنواخت گردید تا زمانی که کاملا شفاف و عاری از ذرات نامحلول باشد. محلول تهیه شده سپس در دمای محیط به مدت ۲۴ ساعت برای تشکیل ژل بدون هم‌زدن نگهداری گردید. محاسبات تئوری بر اساس محتوای تقریبی اسید چرب اشباع روغن کانولا (۷ درصد) و روغن سویا (۱۰ درصد) نشان می‌دهد که شورتنینگ الئوژل دارای تقریبا ۸ درصد اسید چرب اشباع است که در مقایسه با شورتنینگ تجاری با اسید چرب اشباع ۵۰ درصد، کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. پروفایل اسید چرب هر دو نمونه شورتنینگ تجاری و شورتنینگ الئوژل تولید شده با تکنینک کروماتوگرافی گازی تعیین گردید که نتایج در جدول ۱ ارایه شده است. در این جدول مشاهده می‌شود که محصول طراحی شده، یعنی شورتنینگ الئوژل دارای ۱۰ درصد اسید های چرب اشباع و بدون اسید چرب ترانس است، در حالی که شورتنینگ تجاری ۶۰ درصد اسید های چرب اشباع و ۲/۸ درصد اسید چرب ترانس دارد.

جدول ۱- پروفایل اسیدهای چرب نمونه شورتنیگ تجاری و شورتنینگ الئوژل بهینه شده

ردیف	نام یا گروه اسید چرب	اشباعیت	شورتنینگ تجاری (٪)	شورتنینگ الئوژل (٪)
۱	لوریک اسید	اشباع	۰/۱۲	صفر
۲	میریستیک اسید	اشباع	۰/۸۳	۰/۰۶
۳	پنتادکانوئیک اسید	اشباع	۰/۰۵	صفر
٤	پالمتیک اسید	اشباع	۴۰/۳۵	۶/۴۳
٥	مارگاریک اسید	اشباع	۰/۱۱	۰/۰۸
٦	استئاریک اسید	اشباع	۱۸/۳۸	۳/۳۱
۷	آراشیدیک اسید	اشباع	۰/۱۲	۰/۴۵
۸	پالمیتولئیک اسید	غیر اشباع	۰/۱	۰/۱۵
۹	هپتا دسنوئیک اسید	غیر اشباع	۰/۰۲	۰/۱
۱۰	ترانس اولئیک اسید	غیر اشباع	۲/۷۲	صفر
۱۱	سیس اولئیک اسید	غیر اشباع	۲۸/۲۵	۵۰/۵۵
۱۲	سیس لینولئیک اسید	غیر اشباع	۸/۵۹	۳۲/۰۷
۱۳	ترانس لینولئیک اسید	غیر اشباع	۰/۰۵	صفر
١٤	لینولنیک اسید	غیر اشباع	۰/۲۴	۶/۷۴
١٥	اسید های چرب اشباع	اشباع	۵۹/۹۶	۱۰/۳۳
١٦	اسید های چرب غیر اشباع	غیر اشباع	۳۹/۹۷	۸۹/۶۱
۱۷	اسید های چرب سیس	غیر اشباع	۳۷/۲	۸۹/۶۱
۱۸	اسید های چرب ترانس	غیر اشباع	۲/۷۷	صفر
۱۹	اولئیک اسید کل	غیر اشباع	۳۰/۹۷	۵۰/۵۵
۲۰	لینولئیک اسید کل	غیر اشباع	۸/۶۴	۳۲/۰۷

آماده‌سازی کیک

فرمولاسیون اجزاء تشکیل‌دهنده کیک شامل آرد گندم نول (۱۰۰ گرم)، تخم‌مرغ (۱۸ گرم)، شکر (۵۲ گرم)، شورتنینگ (۱۸ گرم)، شیر خشک (۱۲ گرم)، آب (۴۷ گرم) و پیکینگ پودر (۵ گرم) بود. برای تهیه خمیر کیک، ابتدا شورتنینگ و شکر در دور تند همزن خانگی (BOSCH، آلمان) به مدت ۱ دقیقه هم زده شد، سپس تخم‌مرغ اضافه شده و به مدت ۳ دقیقه در دور تند مخلوط کردن انجام گردید. در مرحله بعد، آرد گندم، بیکینگ‌پودر و شیر خشک بدون چربی (مخلوط و الک شده) به مخلوط اضافه شده و به مدت ۳۰ ثانیه در دور کند هم‌زدن انجام گردید و بعد از جمع‌کردن خمیر مجددا به مدت ۳۰ ثانیه هم زدن ادامه یافت. در نهایت آب به فرمول اضافه و به مدت ۱۰ ثانیه در دور کند هم زده شد و در انتها به مدت ۵۰ ثانیه در دور تند، مخلوط کردن کامل شد. خمیر تهیه شده در قالب ریخته شد و در آون (ONIX، ایتالیا) پیش حرارت دیده در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شد. کیک‌ها در دمای اتاق به مدت ۱ ساعت سرد گردیده و سپس بسته‌بندی شده و برای انجام آزمون‌های مربوطه (پس از یک روز ماندگاری) نگهداری شد.

رطوبت

میزان رطوبت تیمارها طبق روش AACC 44-15 و بر پایه تغییرات وزنی نمونه طی خشک شدن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد با استفاده از آون (BINDER، آمریکا) اندازه‌گیری شد.

فعالیت آبی

پس از کالیبره کردن دستگاه سنجش فعالیت آبی (LabMaster، سوئیس)، نمونه‌هایی همگن شده از کیک را در سل مخصوص قرار داده و فعالیت آبی آن پس از متعادل شدن در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تعیین گردید.

حجم مخصوص

اندازه‌گیری حجم کیک طبق روش AACC 10-50 و بر اساس روش جابه‌جایی دانه کلزا انجام گرفت. برای اندازه‌گیری حجم، از دانه‌های ارزن استفاده شد. ابتدا با اندازه‌گیری وزن مربوط به حجم مشخص دانه ارزن، چگالی دانه‌ها تعیین شد. در نتیجه با مشخص بودن چگالی دانه‌ها، حجم مخصوص نمونه تعیین شد.

رنگ‌سنجی پوسته کیک

بررسی رنگ پوسته نمونه‌های کیک با روش پردازش تصویر انجام گرفت. تصویرگری پوسته و مغز کیک در فاصله‌ی دو روز پس از تولید با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon، ژاپن) انجام شد. برای تصویرگیری از اتاقک با دیواره مشکی مات استفاده شد تا بازتاب نور در محیط به حداقل برسد. برای ایجاد نور از لامپ فلورسنت استفاده شد. دوربین در فاصله ۲۰ سانتی‌متری نمونه‌ها و کاملا موازی با آن روی پایه ثابت بود. جهت اندازه‌گیری شاخص‌های رنگی *L، *a و *b، فضای رنگی تصاویر با استفاده از نرم‌افزار ImageJ نسخه ۱/۴۴ و افزونه Color_Space_Converter از RGB به Lab تبدیل شد و سپس میانگین مقادیر در هر کانال رنگی اندازه‌گیری شد (Khalilian Movahhed *et al*., 2016).

تخلخل

به‌منظور ارزیابی میزان تخلخل، از تکنیک پردازش تصویر مغز کیک بر پایه آستانه‌گیری استفاده شد. تصاویر در نرم‌افزار ImageJ ابتدا به فضای رنگی خاکستری تبدیل گردید و پس از آستانه‌گیری با الگوریتم اتسو[۱]، حفرات در تصویر جداسازی گردید و نهایتا نسبت حفرات به سطح کل اندازه‌گیری شد (Khalilian Movahhed *et al*., 2016).

بافت کیک

به‌منظور بررسی بافت کیک در فاصله زمانی یک روز پس از تولید با استفاده از دستگاه بافت‌سنج، پروب مسطح با قطر ۳۶ میلی‌متر و آزمون آنالیز پروفایل بافت اندازه‌گیری شد. برای این کار قطعه مکعبی به بعد ۲ سانتی‌متر از مغز کیک جدا شد. شرایط آزمون شامل حد آستانه[۲] ۱۰ گرم، سرعت پروب طی پیش آزمون، طی آزمون و طی پس از آزمون ۱ میلی متر بر ثانیه بود و درصد فشردگی ۵۰ درصد تعریف گردید. با استفاده از منحنی نیرو–فاصله، شاخص‌های سختی، پیوستگی، شاخص فنریت و انرژی جویدن محاسبه شد (Ronda *et al*., 2011).

ارزیابی حسی

برای ارزیابی ویژگی‌های حسی از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد. آزمون‌های حسی شامل رنگ، ظاهر، بافت، طعم و پذیرش کلی توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش ندیده ترکیبی از ۵ خانم و ۵ آقا تعیین گردید. در ارزیابی حسی از روش هدونیک پنج نقطه‌ای که شماره ۱ نشان دهنده کمترین امتیاز و شماره ۵، بیشترین امتیاز برای صفت مورد ارزیابی می‌باشد، استفاده شد (Khalilian Movahhed *et al*., 2016).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

شورتنینگ تجاری در ۵ سطح شامل صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد با شورتنینگ الئوژل جایگزین گردید. آنالیز نتایج حاصل از حداقل سه تکرار اندازه‌گیری، با روش آنالیز واریانس یک‌طرفه (درصد جانشینی شورتنینگ تجاری با شورتنینگ بر پایه الئوژل) انجام شد. مقایسه میانگین با آزمون Fisher's least significant difference انجام گردید. انجام تجزیه آماری با نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۷ و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

رطوبت

نتیجه آنالیز واریانس رطوبت برای نمونه‌های کیک حاوی غلظت‌های مختلف شورتنینگ نشان داد که درصد جانشینی، اثر معنی‌داری بر این مشخصه داشت (نتایج جدول آنالیز واریانس برای کلیه پاسخ‌ها در متن ارایه نشده است). مقایسه میانگین مقادیر رطوبت در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سطوح ۱۰۰ درصد شورتنینگ تجاری و ۱۰۰ درصد شورتنینگ الئوژل، درصد رطوبت بالاتری در مقایسه با سطوح ترکیبی دارند. احتمالا در شرایط ترکیبی مخلوط شورتنینگ و الئوژل، تعامل متفاوت چربی با گلوتن و نشاسته منجر به حفظ کمتر رطوبت در محصول شده است. Seyhun و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که افزایش محتوای چربی باعث

1 Otsu

2 Trigger force

افزایش حفظ رطوبت کیک طی پخت می‌گردد، با این حال اثر امولسیفایر DATEM در غلظت‌های بالا و پایین چربی متفاوت بود. در غلظت بالای چربی، امولسیفایر باعث افزایش از دست دادن رطوبت شد ولی در غلظت پایین چربی، این اثر کاهشی بود. تفاوت در محتوا و فرمولاسیون چربی، با تغییر ساختار خمیر و کیک، حفظ رطوبت را تحت تاثیر قرار میدهد. بااین‌حال، در همه نمونه‌ها، رطوبت محصول در محدوده قابل‌قبول برای محصول کیک (محدوده ۱۵ تا ۲۰ درصد در استاندارد ملی ایران به شماره ۲۵۵۳) قرار دارد و بر اساس این نتایج، جایگزینی شورتنینگ تجاری حتی تا ۱۰۰ درصد، به‌لحاظ ویژگی رطوبت، محصولی قابل قبول از نظر ویژگی های استاندارد است. محققان دیگر کاهش و افزایش رطوبت محصول را با جایگزینی شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل در فرمولاسیون کلوچه برای به ترتیب الئوژل موم زنبورعسل و الئوژل مونو گلیسیریدی گزارش کردند (Goldstein and Seetharaman, 2011, Yilmaz and Ogutcu, 2015).

جدول ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌های کیک حاوی سطوح مختلف شورتنینگ الئوژل جایگزین شورتنینگ تجاری

درصد جانشینی		صفر	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
رطوبت (درصد)		۱۸/۵۷±۰/۰۹^{a}	۱۸/۲۱±۰/۰۴^{b}	۱۸/۱۶±۰/۰۲^{b}	۱۸/۱۸±۰/۰۶^{b}	۱۸/۶۹±۰/۱۰^{a}
فعالیت آبی		۰/۷۸±۰/۰۰۳^{a}	۰/۷۷±۰/۰۰۲^{a}	۰/۷۷±۰/۰۰۱^{a}	۰/۷۷±۰/۰۰۱^{a}	۰/۷۸±۰/۰۰۳^{a}
حجم مخصوص (cm^3/g)		۲/۸۶±۰/۱۸^{a}	۲/۹۷±۰/۰۸^{a}	۳/۰۵±۰/۱۱^{a}	۳/۰۱±۰/۱۴^{a}	۳/۰۶±۰/۰۶^{a}
تخلخل (درصد)		۲۳/۲۷±۲/۴۴^{a}	۲۲/۲۲±۲/۵۳^{a}	۲۳/۹۰±۲/۰۱^{a}	۲۳/۱۳±۱/۷۴^{a}	۲۴/۳۳±۲/۷۷^{a}
شاخص رنگی LAB پوسته کیک	L*	۴۰/۶۸±۰/۱۵^{a}	۴۲/۱۴±۱/۶۶^{a}	۴۳/۷۳±۲/۹۰^{a}	۴۲/۸۷±۲/۸۹^{a}	۴۱/۳۵±۳/۲۶^{a}
	a*	۱۲/۰۶±۱/۷۵^{a}	۹/۵۱±۰/۹۱^{a}	۱۰/۲۴±۱/۳۱^{a}	۱۲/۷۳±۱/۸۵^{a}	۱۲/۴۹±۱/۳۶^{a}
	b*	۳۶/۶۶±۲/۱۶^{abc}	۳۴/۵۰±۲/۱۰^{bc}	۳۷/۹۳±۱/۲۰^{a}	۳۷/۱۸±۰/۵۸^{ab}	۳۴/۴۸±۰/۸۱^{c}

فعالیت آبی

فعالیت آبی، ازجمله شاخص‌های مهم در محصول کیک بوده و در ماندگاری محصول مانند رشد عوامل میکروبی تاثیرگذار است. داشتن فعالیت آبی کمتر از ۰/۸ در محصول کیک برای ماندگاری طولانی‌مدت لازم است. نتیجه آنالیز واریانس فعالیت آبی برای نمونه‌های کیک حاوی غلظت‌های مختلف شورتنینگ نشان داد که درصد جانشینی، اثر معنی‌داری بر این مشخصه نداشت. مقادیر فعالیت آبی برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به معنی‌دار نبودن آنالیز واریانس، میانگین‌ها، تفاوت معنی‌داری ندارند و همه در محدوده قابل‌قبول برای محصول کیک هستند. بر این اساس، جایگزینی شورتنینگ تجاری با شورتنینگ طراحی شده، تاثیر منفی به لحاظ فعالیت آبی ندارد. Yilmaz و Ogutcu (۲۰۱۵) گزارش کردند که استفاده از الئوژل‌های موم گل آفتابگردان و موم زنبورعسل به جای شورتنینگ تجاری در فرمولاسیون کلوچه باعث کاهش فعالیت آبی گردید. این محققان دلیل این امر را رطوبت کمتر فرمولاسیون حاوی الئوژل دانستند.

حجم مخصوص

حجم مخصوص ازجمله ویژگی‌های کیک است که به لحاظ بازده صنعتی و اقتصادی موردتوجه می‌باشد. نتیجه آنالیز واریانس حجم مخصوص برای نمونه‌های کیک حاوی غلظت‌های مختلف شورتنینگ ژله‌ای نشان داد که اگرچه حجم مخصوص کیک با افزایش درصد جایگزینی با شورتنینگ الئوژل افزایش یافت، اما این افزایش معنی‌دار نبود. مقادیر حجم مخصوص برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به معنی‌دار نبودن اثر درصد جانشینی، میانگین‌ها تفاوت معنی‌داری ندارند. این مسئله نشان می‌دهد، محدودیتی در استفاده از شورتنینگ ژله‌ای به جهت تاثیر بر ایجاد حباب‌های هوا و حجم یافتن طی پخت وجود نداشته است. در مطالعه Pehlivanoglu و همکاران (Pehlivanoglu *et al.*, 2018b) تاثیر پنج نوع الئوژل شامل الئوژل‌های امولسیونی و الئوژل‌های بر پایه موم کارنوبا بر ویژگی‌های کیک روغنی در مقایسه با شورتنینگ تجاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حجم کیک به‌طور معنی‌داری برای الئوژل‌های بر پایه موم کاهش یافت. همچنین در پژوهشی دیگر، محققان با افزودن اتیل سلولز با ویسکوزیته بالا و افزودن تری گلیسرول مونواستئارات به فرمولاسیون شورتنینگ بر پایه پالم، مشاهده کردند که قابلیت هوادهی شورتنینگ افزایش یافته و حجم مخصوص نان حاوی شورتنینگ نسبت به شورتنینگ شاهد، افزایش یافت (Ye *et al.*, 2019).

رنگ‌سنجی پوسته

رنگ پوسته کیک متاثر از فرمولاسیون و شرایط پخت متغیر است و رنگ مناسب بر پذیرش مصرف‌کننده تاثیر مستقیم دارد. نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی، اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های رنگ پوسته کیک شامل شاخص‌های L*، a* نداشت ولی بر شاخص

b* تاثیر معنی‌دار داشت. این مساله احتمالا به دلیل نحوه اثر چربی بر واکنش‌های رنگ زا شامل واکنش های میلارد و کارامل شدن در پوسته کیک باشد. به‌طوری که ساختار رنگدانه‌های تشکیل شده، در چربی مخلوط در مقایسه با شورتنینگ ژله‌ای، واکنش‌های رنگ‌زا بیشتری داشته است و رنگ زرد بیشتری تشکیل شده است. فرایند تشکیل رنگ نه تنها متاثر از فرمولاسیون است بلکه توزیع رطوبت، سرعت انتقال حرارت و جرم نیز تاثیر بسیار زیادی بر آن دارد. مقادیر شاخص‌های رنگی برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به عدم معنی‌داری آنالیز واریانس شاخص‌های L* و a*، میانگین‌های این دو شاخص تفاوت معنی‌داری ندارند. در مورد شاخص b* که معادل رنگ زرد در مقادیر مثبت و رنگ آبی در مقادیر منفی است، تنها در سطح ۱۰۰ درصد جانشینی به میزان دو واحد کمتر از سطح صفر درصد جانشینی و ۳ واحد کمتر از سطح ۵۰ درصد جانشینی است. بااین‌حال، سطح‌های ۵۰ درصد جانشینی و ۷۵ درصد جانشینی تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد ندارند. Goldstein و Seetharaman (۲۰۱۱) در مطالعه خود گزارش کردند که کلوچه‌های تهیه شده با شورتنینگ بر پایه امولسیون مونوگلیسیرید، در مقایسه با کلوچه شورتنینگ تجاری، روشنایی، قرمزی و زردی بیشتری داشت. این محققان این نتایج را مرتبط با تغییر خواص حرارتی خمیر مانند ضریب انتقال حرارت و ضریب انتقال جرم دانستند.

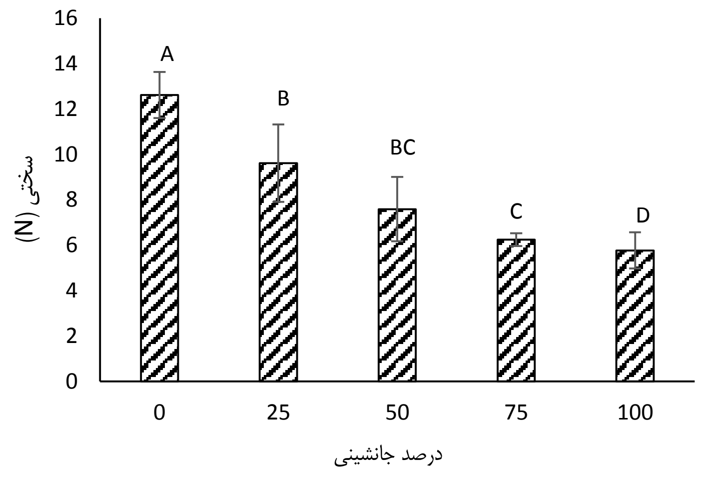
تخلخل

تخلخل ازجمله پارامترهای ظاهری کیک است که نشان‌دهنده نحوه عملکرد فرمولاسیون و فرایند در تولید حباب‌های هوا و حفظ آن است. تخلخل مناسب کیفیت احساس دهانی مطلوبی برای محصول فراهم می‌آورد و ظاهر مناسبی در محصول ایجاد می‌کند. نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر تخلخل کیک اثر معنی‌داری ندارد. مقادیر تخلخل برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به معنی‌دار نبودن اثر درصد جانشینی، مقادیر میانگین‌ها تفاوت معنی‌داری ندارند. این مسئله نشان می‌دهد، نحوه عمل شورتنینگ الئوژل در پوشش‌دهی آرد، حبس و محافظت حباب هوا طی پخت قابل قبول بوده است. محققان بیان کردند که نوع الئوژل بر ویژگی‌های خمیر، توزیع حباب هوا و تخلخل کیک تاثیرگذار است به‌طوری‌که بین سه ساختار الئوژل بر پایه موم‌های سبوس برنج، زنبورعسل و کاندلیا با روغن گل آفتابگردان، تنها الئوژل موم زنبورعسل، ساختار مغز کیک مشابه با شورتنینگ تجاری ایجاد کرد، اگرچه این محققان بیان کردند که تخلخل کیک تهیه شده با شورتنینگ‌های الئوژل کمتر از نمونه شاهد بود (Oh *et al.*, 2017)

بافت

سختی

سختی یا حداکثر نیروی لازم جهت فشرده کردن در فشردن اول نمونه، شاخصی از سفتی بافت اسفنجی کیک است (Bourne, 2002). این شاخصه تابعی از شرایط کیک حین تولید و به‌ویژه پدیده مهاجرت رطوبت و سخت شدن نشاسته طی رتروگراداسیون است که با زمان توسعه می‌یابد (Jongsutjarittam and Charoenrein, 2013). نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر سختی بافت کیک اثر معنی‌داری دارد. مقادیر سختی بافت کیک برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل در شکل ۱ ارائه شده است.

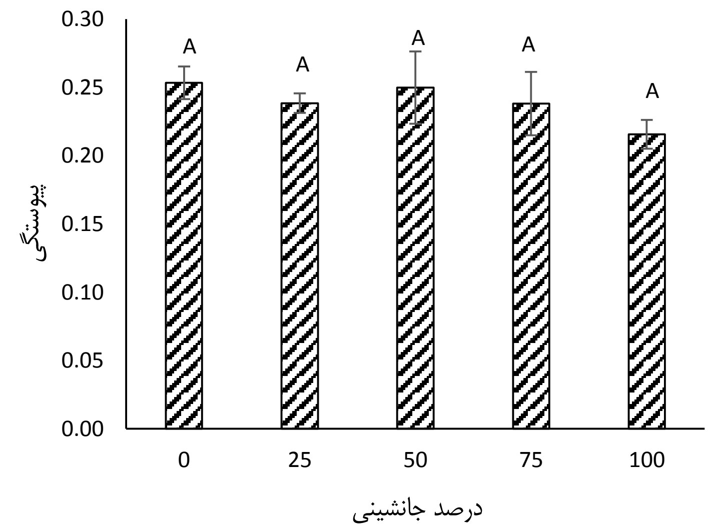


شکل ۱- مقایسه سختی کیک حاوی درصدهای مختلف شورتنینگ الئوژل جایگزین شورتنینگ تجاری

این نتایج نشان می‌دهد، با افزایش درصد جانشینی، سختی بافت کیک کاهش یافته و در ۱۰۰ درصد جانشینی، سختی بافت تا ۵۰ درصد نسبت به نمونه شاهد، کاهش یافته است. این میزان کاهش نشان‌دهنده نرم‌تر بودن بافت کیک تهیه شده با شورتنینگ الئوژل در مقایسه با شورتنینگ تجاری است. این مسئله می‌تواند به دو صورت شامل، اثرگذاری بیشتر شورتنینگ الئوژل در پوشش ذرات آرد و نقش کوتاه‌کنندگی[1] شبکه گلوتن یا توسعه‌یافتگی کمتر شبکه گلوتن (Ghotra *et al*., 2002) و همچنین مداخله در فرآیند از دست دادن آب نشاسته و کندسازی فرآیند رتروگراداسیون باشد. باید به این بحث توجه داشت که با توجه به نتایج بخش حجم و تخلخل، مشاهده شد که حجم کیک و تخلخل، تحت تاثیر جانشینی شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل قرار نگرفت و با توجه سختی کمتر بافت کیک شورتنینگ الئوژل، بافت کیک نرم‌تری ایجاد گردیده است. Kim و همکاران (۲۰۱۷) تاثیر جانشینی شورتنینگ تجاری با الئوژل موم کارنوبا– روغن کانولا را بر بافت کیک مورد بررسی قرار دادند. سختی کیک با افزایش درصد جانشینی به‌طور قابل‌توجهی تا سه برابر افزایش یافت. این محققان همچنین افزایش دانسیته بافتی کیک را در حضور الئوژل مشاهده کردند و کاهش تخلخل بافتی را دلیلی بر افزایش سختی بافت دانستند. بر این اساس، در مطالعه حاضر، شورتنینگ طراحی شده احتمالا با کاهش تراکم رشته های گلوتنی، سختی بافت را تا کاهش داد. بااین‌حال کاهش سختی کلوچه تهیه شده با الئوژل موم کاندلیا در مقایسه با شورتنینگ تجاری نیز گزارش شده است (Jang *et al*., 2015) که اثرگذاری متفاوت ساختارهای الئوژل را نشان می‌دهد. این محققان بیان کردند که با افزایش غلظت موم از ۳ به ۶ درصد، سختی افزایش یافت. هم‌راستا با نتایج این تحقیق، محققان کاهش سختی بافت کیک حاوی الئوژل اتیل سلولز و اسید آدیپیک در مقایسه با کیک حاوی شورتنینگ تجاری را گزارش کردند (Adili *et al*., 2020).

پیوستگی

شاخص پیوستگی معادل نسبت کار لازم جهت فشردگی نمونه در دور دوم فشردن به دور اول فشردن است (Bourne, 2002). این شاخص مرتبط با کیفیت شبکه گلوتنی و گرانول‌های نشاسته موجود در آن بوده و معرفی از حفظ ساختار طی فشردن است و به‌نوعی شاخصی از میزان بازیافت ساختار به قبل از فشردگی اول است. نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر پیوستگی بافت کیک اثر معنی‌داری ندارد. مقادیر پیوستگی بافت برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که بیان شد، تفاوت پیوستگی بافت نمونه‌های کیک حاوی سطوح مختلف شورتنینگ الئوژل، معنی‌دار نیست. در مطالعه Kim و همکاران (۲۰۱۷) پیوستگی تا سطح ۷۵ درصد جانشینی تغییر معنی‌داری نداشت و در سطوح بالاتر کاهش یافت. Tanti و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که جایگزینی شورتنینگ تجاری با الئوژل بر پایه هیدروکسی پروپیل متیل سلولز، در سطح جانشینی ۵۰ درصد باعث افزایش پیوستگی بافتی کرم مغزی کلوچه گردید ولی در سطح ۱۰۰ درصد، جانشینی، مقدار پیوستگی تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نداشت.

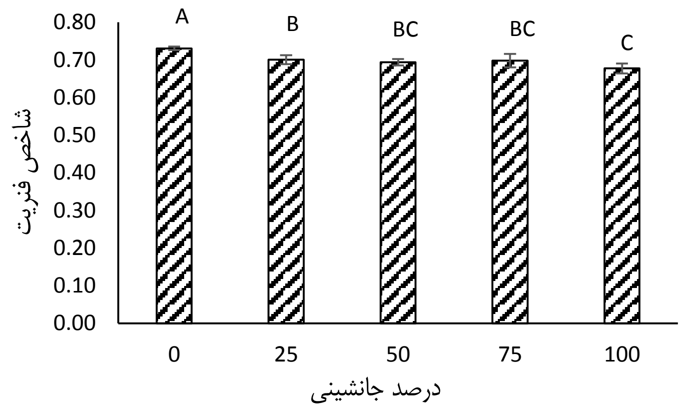


شکل ۲- مقایسه پیوستگی کیک حاوی درصدهای مختلف شورتنینگ الئوژل جایگزین شورتنینگ تجاری

1 Gluten network shortening

شاخص فنریت

شاخص فنریت، معادل درصد میزان برگشت ارتفاع نمونه نسبت به ارتفاع اولیه است که به‌نوعی جزء الاستیک نمونه را نشان می‌دهد (Bourne, 2002). نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر شاخص فنریت بافت کیک اثر معنی‌داری دارد. مقادیر شاخص فنریت بافت برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل در شکل ۳ ارائه شده است. بیشترین شاخص فنریت مربوط به نمونه کیک تهیه شده با شورتنینگ تجاری است و با افزایش درصد جانشینی، بین سطوح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ولی نسبت به نمونه شاهد کمتر است. همچنین تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد وجود ندارد. احتمالا تغییر در شدت عمل شورتنینگ در پوشش‌دهی شبکه گلوتنی، به‌نوعی توسعه شبکه و ایجاد اتصالات بیشتر و در نتیجه شبکه فنری را کاهش داده است.



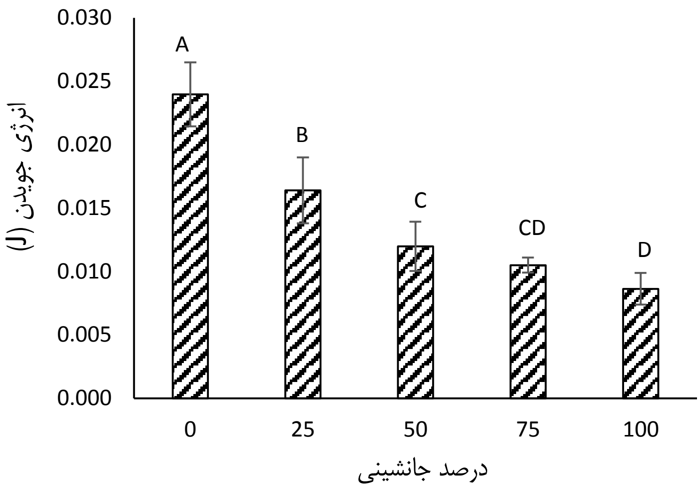
شکل ۳- مقایسه شاخص فنریت کیک حاوی درصدهای مختلف شورتنینگ الئوژل جایگزین شورتنینگ تجاری

انرژی جویدن

انرژی جویدن از محاسبات سختی× پیوستگی× شاخص فنریت تعیین می‌گردد و معادل مقدار انرژی لازم جهت جویدن است (Bourne, 2002). نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر انرژی جویدن بافت کیک اثر معنی‌داری دارد. مقادیر شاخص فنریت بافت برای کیک‌های با درصد جانشینی مختلف شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل در شکل ۴ ارائه شده است. بیشترین انرژی جویدن مربوط به نمونه کیک تهیه شده با شورتنینگ تجاری بود. با افزایش درصد جانشینی شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل، انرژی جویدن کاهش می‌یابد. این مسئله نشان دهنده نرم‌تر شدن بافت و آسان‌تر شدن فرایند جویدن است. همان‌طور که بیان شد، احتمالا شورتنینگ الئوژل با تاثیر بیشتر بر شبکه گلوتنی، انسجام گلوتن را بیشتر کاهش داده و جدا شدن رشته‌ها کاهش می‌یابد، با این‌حال، این شرایط تاثیر منفی بر حجم یافتن کیک و همچنین ارزیابی حسی که در ادامه موردبحث قرار می‌گیرد، نداشت. در مطالعه Kim و همکاران (۲۰۱۷)، انرژی جویدن کیک در حضور الئوژل به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت که متناسب با سخت‌تر شدن بافت کیک بود.

ارزیابی حسی

شاخص‌های ارزیابی حسی شامل طعم، بافت داخلی، ظاهر، رنگ پوسته و پذیرش کلی کیک توسط داوران امتیازدهی شد. نتیجه آنالیز واریانس نشان داد که درصد جانشینی بر شاخص‌های ارزیابی حسی اثر معنی‌داری ندارد. نمودار راداری شاخص‌های ارزیابی حسی نمونه‌های کیک حاوی درصدهای مختلف شورتنینگ الئوژل جایگزین شورتنینگ تجاری، در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به معنی‌دار نبودن آنالیز واریانس، برای میانگین‌های مربوط به هر پاسخ در ارزیابی حسی تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف جانشینی شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل مشاهده نمی‌شود. با نگاه به سایر ویژگی‌هایی که در ارتباط با محصول کیک مورد بررسی قرار گرفت و تفاوت قابل‌توجهی بین نمونه کیک تهیه شده با شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل مشاهده نشد، چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نبود. به‌ویژه در بحث طعم، با توجه به عدم داشتن طعم نامطلوب در شورتنینگ الئوژل، امتیازدهی داوران مشابه با کیک تهیه شده با شورتنینگ تجاری بود. محققان دیگر نیز عدم تفاوت معنی‌دار در ویژگی‌های حسی بین کیک تهیه شده با شورتنینگ الئوژل و شورتنینگ تجاری را گزارش کردند (Pehlivanoglu *et al.*, 2018b). Adili و همکاران (۲۰۲۰) تفاوت معنی‌داری بین ویژگی‌های حسی کیک تهیه شده با الئوژل ترکیبی اتیل سلولز- اسید آدیپیک در مقایسه با شورتنینگ تجاری گزارش کردند. این محققان بیان کردند که الئوژل بر پایه ۶ درصد اتیل سلولز منجر به کیک با امتیاز حسی کمتری در مقایسه با کیک حاوی الئوژل اتیل سلولز و اسید آدیپیک گردید و هر دو نمونه، امتیاز حسی کمتری نسبت به کیک تولید شده با شورتنینگ تجاری داشتند.



شکل ٤- مقایسه ویژگی انرژی جویدن کیک حاوی درصدهای مختلف شورتنینگ الئوژل جایگزین شورتنینگ تجاری

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های حسی کیک حاوی درصدهای مختلف شورتنینگ الئوژل جایگزین شورتنینگ تجاری

درصد جانشینی	طعم	بافت	ظاهر	رنگ	پذیرش کلی
صفر	۳±۰/۷۶^{a}	۳/۲۴±۰/۷۱^{a}	۳/۴۲±۰/۷۸^{a}	۳/۳۶±۰/۹۰^{a}	۳/۳۲±۰/۴۳^{a}
۲۵	۲/۷۱±۰/۶۱^{a}	۲/۵۲±۰/۹۲^{a}	۳±۰/۷۵^{a}	۳/۰۶±۱/۱^{a}	۲/۸±۰/۷۴^{a}
۵۰	۲/۹۴±۰/۸۶^{a}	۲/۸۵±۰/۵۵^{a}	۳/۱۲±۰/۵۹^{a}	۳/۳۱±۰/۷^{a}	۲/۹۵±۰/۶۸^{a}
۷۵	۲/۹۴±۰/۶۷^{a}	۲/۹۳±۰/۶۷^{a}	۳/۳۲±/۷۲^{a}	۳/۳۳±۰/۸^{a}	۳/۱۵±۰/۴۷^{a}
۱۰۰	۳/۱۹±۰/۶۵^{a}	۳/۲۲±/۳۶^{a}	۳/۳۵±۰/۵۱^{a}	۳/۴۴±۱/۰۰^{a}	۳/۱۶±۰/۳۹^{a}

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، برای بررسی عملکرد شورتنینگ تهیه شده بر پایه الئوژل ترکیبی اتیل سلولز، در سطوح صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزین شورتنینگ تجاری در فرمولاسیون کیک روغنی گردید. در ادامه، ویژگی‌های مختلف کیک مورد ارزیابی قرار گرفت. جانشینی شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل در تمام سطوح، تاثیر معنی‌داری بر رطوبت کیک داشت. در هر یک از کیک‌های تهیه شده با شورتنینگ تجاری یا شورتنینگ الئوژل، میزان رطوبت نهایی کیک، بیشتر از فرمولاسیون حاوی مخلوط شورتنینگ تجاری و الئوژل بود. در ارتباط با شاخص‌های فعالیت آبی، تخلخل و حجم مخصوص، جایگزینی شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل، تفاوت معنی‌داری در هیچ یک از سطوح جانشینی ایجاد نکرد. روشنایی پوسته و مولفه قرمزی- سبزی کیک متاثر از جایگزینی شورتنینگ تجاری و الئوژل نبود ولی رنگ زرد نمونه حاوی نسبت مساوی هر دو شورتنینگ بیشترین بود. به لحاظ سختی، جایگزینی شورتنینگ تجاری با شورتنینگ الئوژل باعث نرم تر شدن بافت و کاهش نیروی فشردن شد اما شاخص پیوستگی تغییر معنی‌داری نداشت. همچنین فنریت با افزایش درصد جانشینی کاهش یافت و انرژی جویدن کمتری برای کیک تولید شده با شورتنینگ الئوژل لازم بود. داوران ارزیابی حسی تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های مختلف کیک به لحاظ طعم، ظاهر، بافت، رنگ و پذیرش کلی مشاهده نکردند. به‌طورکلی، شورتنینگ الئوژل این قابلیت را دارد که جایگزین شورتنینگ تجاری شود و البته محصول تولید شده، بافت نرم‌تری دارد.

منابع

AACC. 2000. Approved methods of the American association of cereal chemists. 10th Edition. The Association, St, Paul, Minnesota.

Adili, L., Roufegarinejad, L., Tabibiazar, M., Hamishehkar, H., Alizadeh, A. 2020. Development and characterization of reinforced ethyl cellulose based oleogel with adipic acid: Its application in cake and beef burger. *LWT- Food Science and Technology*, 126**,** online press.

Barbut, S., Wood, J., Marangoni, A. G. 2016. Effects of Organogel Hardness and Formulation on Acceptance of Frankfurters. Journal of Food Science, 81**,** C2183-8.
Bourne, M. 2002. Food texture and viscosity: concept and measurement, Elsevier.
Co, E. D., Marangoni, A. G. 2012. Organogels: An Alternative Edible Oil-Structuring Method. *Journal of the American Oil Chemists' Society,* 89**,** 749-780.
Ghotra, B. S., Dyal, S. D., Narine, S. S. 2002. Lipid shortenings: A review. Food Research International*,* 35**,** 1015--1048.
Gmez-Estaca, J., Herrero, A. M., Herranz, B., Lvarez, M. D., Jimnez-Colmenero, F., Cofrades, S. 2019. Characterization of ethyl cellulose and beeswax oleogels and their suitability as fat replacers in healthier lipid pâtés development. *Food Hydrocolloids,* 87**,** 960-969.
Goldstein, A., Seetharaman, K. 2011. Effect of a novel monoglyceride stabilized oil in water emulsion shortening on cookie properties. *Food Research International,* 44**,** 1476-1481.
Ghotra, B.S., Dyal, S.D., Narine, S.S. 2002. Lipid shortenings: a review. *Food Research International*, 3510, 1015-1048.
Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2006. Cake–
Specification and test methods. Iranian National Standardization Organization (INSO). Standard No. 5772.
Jang, A., Bae, W., Hwang, H. S., Lee, H. G., Lee, S. 2015. Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods. *Food Chemistry,* 187**,** 525-9.
Jongsutjarittam, N., Charoenrein, S. 2013. Influence of waxy rice flour substitution for wheat flour on characteristics of batter and freeze-thawed cake. *Carbohydrate Polymers,* 97**,** 306-14.
Khalilian Movahhed, M., Mohebbi, M., Koocheki, A., Milani, E. 2016. The effect of different emulsifiers on the eggless cake properties containing WPC. *Journal of Food Science and Technology,* 53**,** 3894-3903.
Kim, J. Y., Lim, J., Lee, J., Hwang, H. S., Lee, S. 2017. Utilization of oleogels as a replacement for solid fat in aerated baked goods: Physicochemical, rheological, and tomographic characterization. *Journal of Food Science,* 82**,** 445-452.
Marangoni, A. G. 2012. Chocolate compositions containing ethylcellulose. US patent application:0183651A1.
Martins, A. J., Vicente, A. A., Cunha, R. L., Cerqueira, M. A. 2018. Edible oleogels: an opportunity for fat replacement in foods. *Food Funct,* 9**,** 758-773.
Mert, B., Demirkesen, I. 2016a. Evaluation of highly unsaturated oleogels as shortening replacer in a short dough product. *LWT - Food Science and Technology,* 68**,** 477--484.
Mert, B., Demirkesen, I. 2016b. Reducing saturated fat with oleogel/shortening blends in a baked product. *Food Chemistry,* 199**,** 809-16.
Oh, I. K., Amoah, C., Lim, J., Jeong, S., Lee, S. 2017. Assessing the effectiveness of wax-based sunflower oil oleogels in cakes as a shortening replacer. *LWT,* 86**,** 430-437.
Patel, A. R., Rajarethinem, P. S., Gredowska, A., Turhan, O., Lesaffer, A., De Vos, W. H., Van De Walle, D., Dewettinck, K. 2014. Edible applications of shellac oleogels: spreads, chocolate paste and cakes. Food & Function, 5**,** 645-52. doi:10.1039/c4fo00034j.
Pehlivanoglu, H., Demirci, M., Toker, O. S., Konar, N., Karasu, S., Sagdic, O. 2018a. Oleogels, a promising structured oil for decreasing saturated fatty acid concentrations: Production and food-based applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* 58**,** 1330-1341.
Pehlivanoglu, H., Ozulku, G., Yildirim, R. M., Demirci, M., Toker, O. S., Sagdic, O. 2018b. Investigating the usage of unsaturated fatty acid-rich and low-calorie oleogels as a shortening mimetics in cake. *Journal of Food Processing and Preservation,* 42**,** 13621.
Ronda, F., Oliete, B., Gómez, M., Caballero, P. A., Pando, V. 2011. Rheological study of layer cake batters made with soybean protein isolate and different starch sources. *Journal of Food Engineering,* 102**,** 272-277.
Singh, A., Auzanneau, F. I., Rogers, M. A. 2017. Advances in edible oleogel technologies - A decade in review. *Food Research International,* 97**,** 307-317.
Siraj, N., Shabbir, M. A., Ahmad, T., Sajjad, A., Khan, M. R., Khan, M. I., Butt, M. S. 2015. Organogelators as a Saturated Fat Replacer for Structuring Edible Oils. *International Journal of Food Properties,* 18**,** 1973-1989.
Tanti, R., Barbut, S., Marangoni, A. G. 2016. Hydroxypropyl methylcellulose and methylcellulose structured oil as a replacement for shortening in sandwich cookie creams. *Food Hydrocolloids,* 61**,** 329-337.
Valoppi, F., Calligaris, S., Marangoni, A. G. 2017. Structure and physical properties of oleogels containing peanut oil and saturated fatty alcohols. *European Journal of Lipid Science and Technology,* 119**,** 1600252.
Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., Delcour, J. A. 2013. Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in Food Science and Technology,* 30**,** 6--15.
Ye, X., Li, P., Lo, Y. M., Fu, H., Cao, Y. 2019. Development of Novel Shortenings Structured by Ethylcellulose Oleogels. *Journal of Food Science,* 84**,** 1456-1464.
Yilmaz, E., Ogutcu, M. 2015. The texture, sensory properties and stability of cookies prepared with wax oleogels. *Food & Function,* 6**,** 1194-204.
Zhou, J., Faubion, J. M., Walker, C. E. 2011. Evaluation of different types of fats for use in high-ratio layer cakes. *LWT - Food Science and Technolog*y*,* 44**,** 1802-1808.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 353- 363

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۳۶۳-۳۵۳

Evaluation of ethyl cellulose oleogel functionality as shortening substitute in the formulation of cake with low saturated fatty acid content

A. Ehtiati*, M. Mehraban Sang Atash, R. Karazhyan, Z, Nazari, F. Sadeghi

Received: 2020.04.21
Accepted: 2020.07.07

Introduction: Shortening is an important ingredient of bakery products, especially the ones with less developed gluten network like cakes and cookies . Shortening thermo-rheological properties are related to the presence of high levels of saturated fatty acids which have the capability of making crystals at room temperature which melt during baking. Consumption of high saturated fatty acids increases the risk of coronary disease. Moreover, hydrogenation is a usual technique for elevating the saturated fatty acid content of vegetable oils. Lowering the saturated fatty acid content of a shortening results in the shortening with less functionality. Transition of an oil physical properties to those of a semi-solid structure can be done using low- or non-digestible oil gelators called oleogelation. Ethyl cellulose is a polymer with oil gelation capabilities at low concentrations. However, its oleogels are firm and brittle, so some low-molecular-weight gelators can improve its texture and increase its plasticity to mimmic commercial shortening functionality. In this study, the functionality of an oleogel based on ethyl cellulose, stearyl alcohol, stearic acid and sorbitan monostearate was evaluated as commercial shortening substitute in cake formulation.

Materials and Methods: Based on previous studies and preliminary experiments, an optimized oleogel formulation was prepared as shortening, composed of ethyl cellulose (6.4%), stearyl alcohol:stearic acid (70:30) (7.5%), sorbitan monostearate (0.1%) and canola/soy mixture oil (75:25 ratio) (86%).The gel was formed by heating up the mixture to 150 °C for the complete solvation of the gelator compounds and gradual cooling to room temperature. In the next step, commercial shortening was substituted with the oleogel shortening at 0, 25,50, 75 and 100% in the cake formulation. Moisture content, water activity, specific volume, crust color, Lab color space indices based on image processing, porosity based on crumb image analysis, TPA parameters and sensory attributes were determined and compared using one-way analysis of variance and LSD mean comparison test.

Results & Discussion: The results showed that there was no significant difference in the moisture content, water activity and specific volume of the cakes prepared with the oleogel shortening with the one prepared with commercial shortening. This reveals that the oleogel shortening functionality was acceptable compared with commercial shortening. In terms of crust color, there was no significant difference in the lightness index (L*) and red-green range (a*) indicators between different samples and only in the yellow-blue range (b*) index, the cake with 100% substitution showed a lower value than the control. For the porosity index, there was no significant difference between the five samples, proving the oleogel shortening can induce sufficient air bubbles generated during batter mixing and its preserving effect during baking. Examining the texture of the cake samples showed that the texture hardness and springiness indices decreased with a rise in the level of commercial shortening substitution, while the cohesiveness index did not differ significantly. The latter indicated that the oleogel shortening effectively shortened the gluten network; thus, it can be said that the same commercial shortening functionality is attainable using less oleogel shortening content. Furthermore, as the percentage of the commercial shortening substitutes increased, due to texture softening, the chewing energy of the samples decreased resulting in a better mouthfeel. Finally, sensory evaluation of the cake samples did not show a significant difference in taste, texture, appearance, color and overall acceptance based on scores obtained from ten untrained evaluators. In conclusion, the use of oleogel shortening instead of commercial shortening with high saturated fatty acid content in cake formulation not only can result in a cake with acceptable properties at 50% replacement level, but also can replace commercial shortening even up to 100%.The latter just lead to a softer texture. Optimization of the cake formulation based on the oleogel shortening would specifically result in a cake with better properties, while it has significantly lower saturated fatty acid content and nearly zero trans fatty acids.

Keywords: Cake, Ethyl cellulose, Oleogel, Saturated fatty acid

- Food Quality and Safety Research Department, ACECR, Khorasan Razavi Branch, Iran.
(*Corresponding Author Email: mahvid@live.com)